連載 オーディオ計測の散歩道

# FFT分析で音の違いを見る

## ●聴覚系の構造とはたらき

■小倉幸一■

初めに1月号での訂正をしておきます．バースト波に対応してピップ波とそのスペクトルを写真Jで紹介しましたが，波形がサイン波でなく方形波でした．したがって，基本波に対して多くの3，5，7……倍の高調波が出ています．これはピップ波の特徴でなく，ピップ波を構成している方形波の特徴が出たものです．これがバースト波と同じくサイン波であれば，もっと連続波に近い完全な意味での500 Hzのみのスペクトル表示となるわけです．以上，訂正しておきます（スペクトルの実際は**写真A**）．

ついでながら，管の共鳴実験での管の長さと周波数との関係式を**第1表**に示しておきます．

本題のスピーカ・コードA，B，Cの音の差の実験は，線の差と音の差の実体をつかむまでに至っておりませんので，今月は聴覚系の検査法などのお話をします．

### 聴力検査について

耳の聴こえが衰える――は加齢とともに自然におこり，程度の差はあれ誰でも納得していることですが，くわしく調べてみると，f特に差があります．聴覚のf特はふつう20 Hz～20 kHzとなっていますが，少年少女時代は25 kHzでも感じる能力をもっていることを経験したことがあります．25 kHz超音波での実験で近くにいた子供さんたちが「何かチィー，チィー変な音がする」って騒ぎ出したのです．もちろん実験を止めれば，チィー，チィーもなくなったので，超音波に感じているのだ……と確認しました．

さて，聴覚でのf特を特徴的に2種に分けてみます．

**第1図**に概略図（パターン）を書いておきました．(A)は全体的にレベルが下がっている難聴タイプ，(B)は比較的高域の感度減衰がひどいタイプです．(A)の場合とにかく聴こえない，(B)の場合，何をいっているのかわからないという状態です．

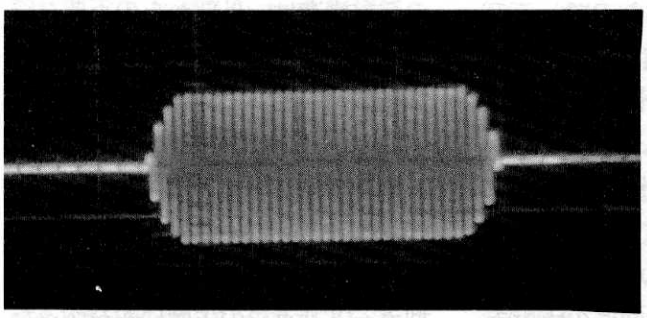
いずれにしても，この測定はヘッドフォンからの音が聴こえるか聴こえないかの反応で決めます．聴こえなければ音を大きくする方向へ，聴こえたら逆に音を小さくする方向へダイアル（音量調整）を回します．このダイアルは，いわゆるボリュームと違って筆者のものは21ステップのアッテネータ式になっています．各ステップは5 dBです．したがって100 dBの範囲の音量調整ができるわけです（**写真B**）．

音量の絶対値はヘッドフォン装着状態でキャリブレーションしてあり，目盛値がそのまま音量dBを表わします．

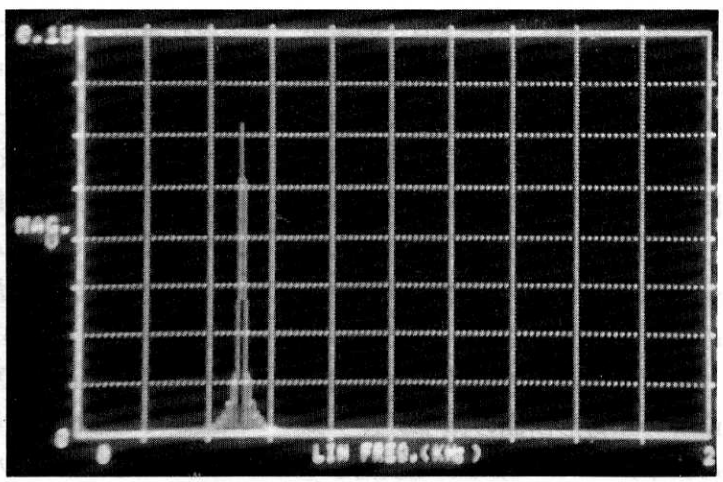
| 両端開管 | 両端閉管 | 一端解放 |
|---|---|---|
| $f=\frac{n\times音速}{2管長}$ | $f=\frac{n\times音速}{2管長}$ | $f=\frac{(2n-1)音速}{4管長}$ |

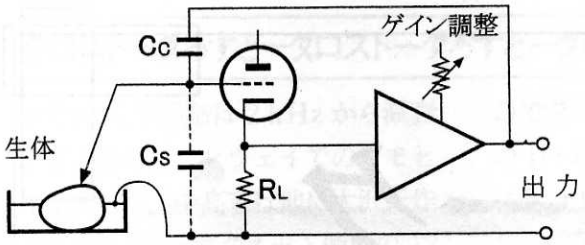
（nは次数）

〈第1表〉管の音響特性



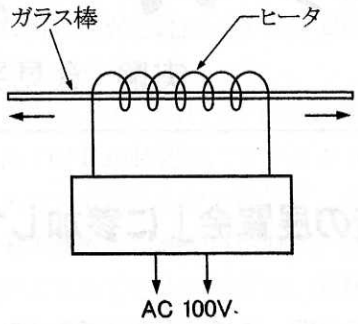
●《写真A》前号訂正●正弦波のピップ波とその分析．前号で掲載したのは方形波のものでした






◀〈第9図〉
生体活動電位の記録法．ヒータ電位は5Vくらいに下げる

▼〈第8図〉
ガラスの微小電極の作りかた




葉原の町で探し回ったものでした．というのも，以下のような厳しい条件付きのアンプを必要としたからです．

個々の細胞の働きを調べるため，顕微鏡下で細胞に電極を挿入し，刺激とそれに対する反応を見てみると，神経細胞は電池と考えられ，細胞内部は－数10 mVの電位を保っていますが，刺激が加わると極性が逆転して＋数mVになり，約1 msecでもとにもどります．変化分に注目すると，ピーク値数10 mVのパルスが発生したことになります．

10ミクロン程度のサイズの細胞内部に電極を刺して電位を測り，動作を確かめるためには，電極の先端は0.何ミクロンという直径でなければなりません．金属類では，導電性の点ではOKでも，腰が弱くて細胞に挿入できません．そこで考えられたのがガラス電極です．

実際には直径1.5 mm程度の中空のガラス管を**第8図**のように電熱で赤熱し，両端から引っ張って引きちぎったのです．乱暴のようですが，それ専用の電極製作器を開発したのです．これで1本のガラス管から2本の電極ができます．先端が細いことはもちろんですが，肝心なのは電極ですから導電性を持たせなければなりません．そのため細胞内液と同質の導電性液を先端径0.数ミクロンのガラス管に充満させなければなりません．液を力づくで押し込むと先端が破壊してしまいます．

そこで，空気のつまっている電極を導電性液の中に先端を中空に向けて一晩漬けておき，空気との自然置換を行い，導電性のあるガラス電極を作ったのです．

さて，導電性はあるのですが，先端径が1ミクロン以下となると，その電気抵抗は10から100 MΩ程度にもなります．これを通して1 msec程度のパルスを誘導するとなると，これを受けるアンプの入力インピーダンスも数倍以上のものが必要となります．

加えて，この初段管のグリッド電流が問題になります．細胞内に数μAが流れると，その細胞は電気刺激を受けたことになってしまい，正常状態でなくなってしまいます．真空管選びはこのグリッド電流と入力容量の少ないものの選定です．そして**第9図**のような入力回路をもつカソード・フォロワを作ったものでした．

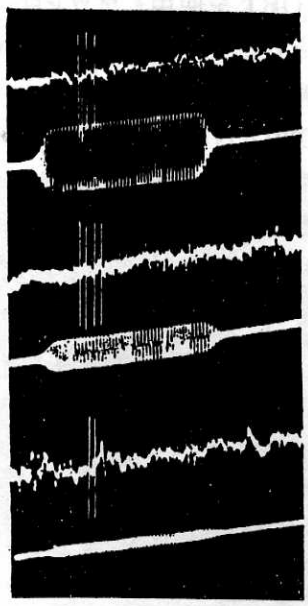
グリッド電流も$10^{-12}$ Aに押さえるためヒータ電圧を5 Vほどに落としたりして，苦労したものでした．その後，FET，ICとなってアンプも小さくでき，動物（ネコ）の脳に近くセットできるようになり，いまから思うと真空管（807）からICまでいい経験をしました．

このような電極を微小電極といいますが，この電極から誘導されたパルス/インパルスは**第9図**のように入力容量の影響を受けずに増幅され，オシロスコープで波形観察されます．

以上は細胞生理学であり，細胞の電気的活動を通して生体活動を調べる研究分野です．

一方，感覚生理学では，このパルスの発生パターンと頻度に注目して刺激（筆者の場合は聴覚・音刺激）の周波数や強度，それにともなって発生するインパルスの発生頻度やパターンを脳の聴覚領に向って追跡していく研究でした．

この場合，1本の神経細胞を大脳まで追跡していくことは不可能なので，場所場所での聴神経からのモレ電流を微小電極で誘導し，刺激波形（ピップ波）と対応させてその神経の特徴をピックアップしていく，という手法をとりました．**写真C**に刺激波形とインパルスデータのパターンを示しました．



《写真C》2つの波形を1組として，上が応答インパルス，下が刺激波．バーストが小さくなると，インパルスも少なくなっている前